

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-249570  
 (43)Date of publication of application : 14.09.2000

(51)Int.CI. G01C 22/00  
 G01L 5/00  
 G06T 15/70

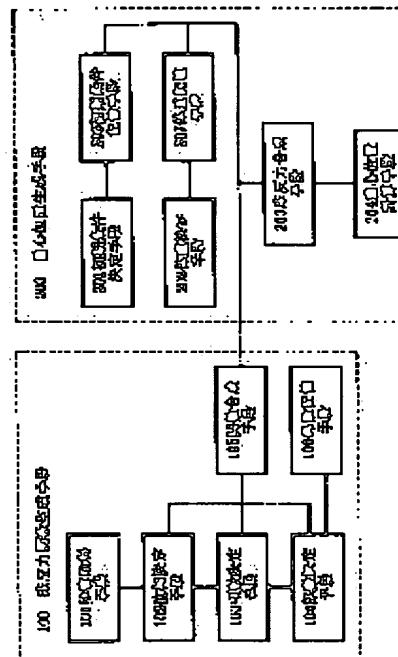
(21)Application number : 11-049180  
 (22)Date of filing : 25.02.1999.  
 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>  
 (72)Inventor : TSUTSUGUCHI KEN  
 SONEHARA NOBORU

## (54) MOTION STATE GENERATING METHOD AND MEDIUM RECORDING THAT METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To generate an animation easily simply through input of walking style by determining the sum of triangular function as a floor reaction function based on the speed of a motion body on the floor and the coefficients of a specific triangular function thereby generating the time variation of floor reaction approximately.

**SOLUTION:** A walking style acquisition means 101 acquires the walking style and determines the time T of one step from a specified mathematical expression and then a phase determining means 102 determines the phase of a triangular function becoming the linear combination base using the value of T. A number of term determining means 103 determines the number of triangular functions and a coefficient determining means 104 determines prestore coefficients and the coefficients of triangular function for predetermined coefficients. A function combining means 105 calculates the linear sum using the triangular function of base, phase, number of terms and coefficients. An initial condition determining means 201 acquires initial conditions of the center of gravity and speed, a body weight determining means 202 determines the body weight, and a floor reaction combining means 203 combines floor reactions using these numeral values and functions. A center of gravity calculating means 204 calculates time variation of the center of gravity using the approximate value of floor reaction and calculates the center of gravity according to the motion expression thereof.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 18.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

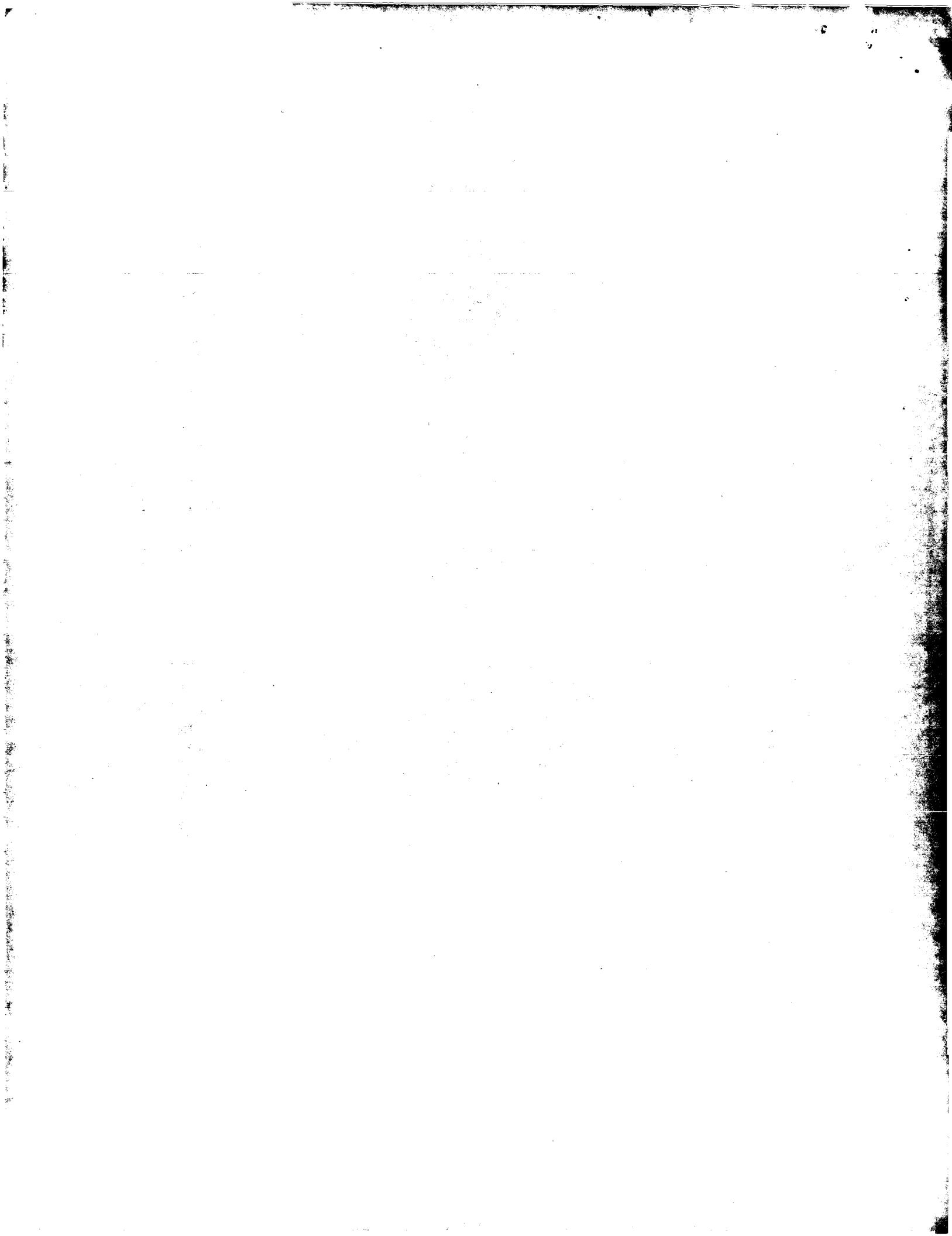
[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-249570  
(P2000-249570A)

(43)公開日 平成12年9月14日 (2000.9.14)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	マーク(参考)
G 0 1 C 22/00		G 0 1 C 22/00	W 2 F 0 2 4
G 0 1 L 5/00		G 0 1 L 5/00	Z 2 F 0 5 1
G 0 6 T 15/70		G 0 6 F 15/62	3 4 0 K 5 B 0 5 0

審査請求 未請求 請求項の数8 O.L (全9頁)

(21)出願番号 特願平11-49180

(22)出願日 平成11年2月25日 (1999.2.25)

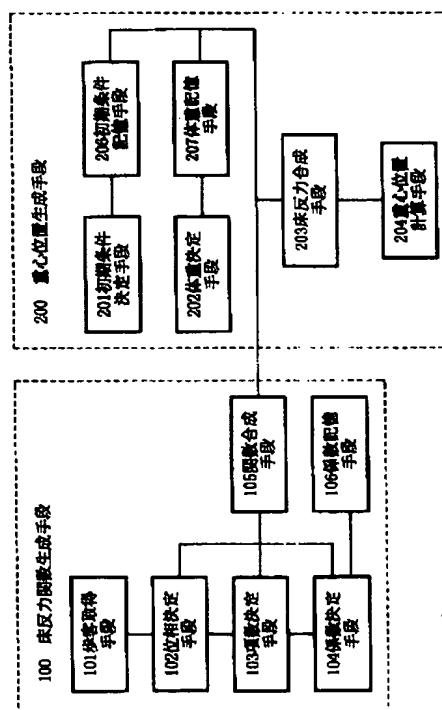
(71)出願人 000004226  
日本電信電話株式会社  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
(72)発明者 筒口 けん  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内  
(72)発明者 曽根原 登  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内  
(74)代理人 100064908  
弁理士 志賀 正武  
F ターム(参考) 2F024 BA10 BA15  
2F051 AA19 AB06 AC09 BA07  
5B050 BA08

(54)【発明の名称】運動状態生成方法及び該方法が記録された記録媒体

(57)【要約】

【課題】歩容や体重などの個人差に応じた歩行状態等を容易に生成することができる運動状態生成方法を提供すること、また、種々の地形に応じた運動状態を容易に生成することができる運動状態生成方法を提供すること、さらに、該方法が記録された記録媒体を提供すること。

【解決手段】床反力の時間変化を、有限個の三角関数の和を用いて近似的に生成することにより人間の歩行状態を生成する運動状態生成方法であって、人間の歩容を入力し、前記三角関数の係数を決定し、これらを用いて床反力関数として有限個の三角関数の和を求め、前記人間の体重と運動の初期条件を用いて前記床反力関数を時間積分して、前記人間の重心位置の時間変化を計算することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 床上を運動する運動体と床とが接する部分において前記運動体が床から受ける反力の時間変化を、有限個の三角関数の和を用いて近似的に生成する運動状態生成方法において、

前記運動体の速度を取得する工程と、

係数記憶手段から係数を読み出して前記三角関数の係数を決定する係数決定工程と、

前記運動体の速度と、前記三角関数の係数とに基づき、床反力関数として有限個の三角関数の和を求める関数合成工程とを含むことを特徴とする運動状態生成方法。

【請求項2】 請求項1記載の運動状態生成方法において、

前記運動体の運動の初期条件として、該運動体の重心の初期位置及び初期速度を取得して境界条件記憶手段に格納する境界条件決定工程と、

前記運動体の質量を取得して質量記憶手段に格納する質量決定工程と、

前記重心の初期位置、初期速度及び質量と、前記床反力関数とを用いて前記運動体の重心位置の時間変化を計算する重心位置計算工程とを含むことを特徴とする運動状態生成方法。

【請求項3】 請求項2に記載の運動状態生成方法において、

前記境界条件決定工程は、前記運動体の運動の終期条件として重心の終期位置を前記境界条件記憶手段に格納し、

前記重心位置計算工程は、前記運動体の重心位置の時間変化から求められる重心の終期位置と前記境界条件記憶手段に格納された終期位置とを比較し、その比較結果に基づき前記床反力関数を変化させることを特徴とする運動状態生成方法。

【請求項4】 請求項1から3いずれかに記載の運動状態生成方法において、

前記係数決定工程は、前記運動体が運動する地形の形状に基づいて係数を決定することを特徴とする運動状態生成方法。

【請求項5】 床上を運動する運動体と床とが接する部分において前記運動体が床から受ける反力の時間変化を、有限個の三角関数の和を用いて近似的に生成する運動状態生成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体において、

前記運動状態生成プログラムは、

前記運動体の速度を取得する工程と、

係数記憶手段から係数を読み出して前記三角関数の係数を決定する係数決定工程と、

前記運動体の速度と、前記三角関数の係数とに基づき、床反力関数として有限個の三角関数の和を求める関数合成工程とをコンピュータに実行させるプログラムであることを特徴とする記録媒体。

## 【請求項6】 請求項5記載の記録媒体において、

前記運動状態生成プログラムは、

前記運動体の運動の初期条件として、該運動体の重心の初期位置及び初期速度を取得して境界条件記憶手段に格納する境界条件決定工程と、

前記運動体の質量を取得して質量記憶手段に格納する質量決定工程と、

前記重心の初期位置、初期速度及び質量と、前記床反力関数とを用いて前記運動体の重心位置の時間変化を計算する重心位置計算工程とをコンピュータに実行させるプログラムであることを特徴とする記録媒体。

【請求項7】 請求項6に記載の記録媒体において、

前記境界条件決定工程は、前記運動体の運動の終期条件として重心の終期位置を前記境界条件記憶手段に格納し、

前記重心位置計算工程は、前記運動体の重心位置の時間変化から求められる重心の終期位置と前記境界条件記憶手段に格納された終期位置とを比較し、その比較結果に基づき前記床反力関数を変化させることを特徴とする記録媒体。

【請求項8】 請求項5から7いずれかに記載の記録媒体において、

前記係数決定工程は、前記運動体が運動する地形の形状に基づいて係数を決定することを特徴とする記録媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、人間の歩行などの運動状態をコンピュータを用いて生成する運動状態生成方法及び該方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 人間が歩行する際に足と床とが接する部分において人間が床から受ける反力が床反力である。床反力は人間の歩行状態を反映しており、人間工学的な解析や臨床医学的な分析材料として広く用いられている。一般に、床反力データはフォースプレート等を用いて、ある時間間隔ごとに単位面積あたりにかかる力を、足とフォースプレートとの設置面積にわたって合計したものが用いられている。

【0003】 図9(a)は、典型的な片足のみの床反力の時間変化を、実際にデータを採取してグラフ化したものである。横軸は時間であり、数字は1サイクル(左右1歩づつの合計2歩)に対する時間の割合を示している。典型的な例を挙げると、例えば1分あたりの歩数を100歩とすると、1歩に要する時間は0.6秒であり、1サイクルは1.2秒となる。縦軸は体重に対する床反力の割合を示す。本図において、「progressional」は歩行する方向の成分であり、「vertical」は鉛直上向き方向であり、「lateral」は床反力の左右方向の成分で、立脚

足の内側を正としている。なお、ここで言う1歩とは、片方の足の着地から他方の足が着地するまでであり、1歩の開始からしばらくの間は両足支持となる。図9(a)においては、片足の着地からその足が地面を離れるまでを示しており、Gait Cycleの50%までが1歩である。図9(b)において、両足の床反力と1歩との関係について示した。なお、本図においては、「vertical」のみを示した。

【0004】上述のように、床反力は人間が歩行する際に床から与えられる力であるから、実際に測定して得られた床反力を用いることで、逆に人間の歩行状態を再現することができる。このため、コンピュータに予め測定された床反力を入力しておくと、その床反力をを利用してコンピュータグラフィックスによるアニメーションにより前記人間の歩行映像を合成することができる。つまり、実際の人間の床反力を測定すると、コンピュータ上でその人間の動きを再現することができる。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、人間の歩行状態は非常に複雑な運動であり、さらに床反力は体重や歩幅などで著しい個人差がある。このため、ある人間の床反力は、その人間の歩行状態を再現するためにしか用いることはできない。したがって、例えば体重や歩幅が異なる人間の歩行状態をコンピュータ上でアニメーション生成するには、各々の人間について床反力を測定しなければならない。また、勾配や階段などの地形に応じた歩行状態を生成するためには、実際にその地形を再現して予め床反力を測定しておく必要があるため、種々の地形を歩行する歩行状態を生成したい場合には、各々の地形を実際に再現し、各地形についてのデータを採取しなければならず、非常に手間がかかっていた。

【0006】上記事情に鑑み、本発明においては、歩容や体重などの個人差に応じた歩行状態等を容易に生成することができる運動状態生成方法を提供することを目的とする。また、本発明の他の目的は、種々の地形に応じた運動状態を容易に生成することができる運動状態生成方法を提供することを目的とする。さらに、このような運動状態生成方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することを目的とする。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の運動状態生成方法は、床上を運動する運動体と床とが接する部分において前記運動体が床から受ける反力の時間変化を、有限個の三角関数の和を用いて近似的に生成する運動状態生成方法であって、前記運動体の速度を取得する工程と、係数記憶手段から係数を読み出して前記三角関数の係数を決定する係数決定工程と、前記運動体の速度と、前記三角関数の係数とに基づき、床反力関数として有限個の三角関数の和を求める関数合成工程とを含むことを

特徴とする。

【0008】前記運動体としては、歩行する人間や人間以外の動物などが挙げられる。人間の歩行状態（運動状態）を生成する場合は、前記速度（歩行速度）に加え、歩幅度をも取得することで、歩行する人間の歩行状態を生成するための床反力を得ることができる。歩行速度と歩幅度の代わりに、直接歩容（単位時間あたりの歩数）を取得することとしてもよい。この運動状態生成方法は、予め用意されている典型的な床反力を適宜変更することで個人差に応じた床反力を得ることができ、この床反力を用いることで、例えば人間の重心位置の運動状態を生成することができる。なお、前記係数は実測値に基づくものでもよいし、シミュレーションで求められた値等、実測値に基づかないものであってもよい。

【0009】請求項2記載の運動状態生成方法は、請求項1記載の運動状態生成方法において、前記運動体の運動の初期条件として、該運動体の重心の初期位置及び初期速度を取得して境界条件記憶手段に格納する境界条件決定工程と、前記運動体の質量を取得して質量記憶手段に格納する質量決定工程と、前記重心の初期位置、初期速度及び質量と、前記床反力関数とを用いて前記運動体の重心位置の時間変化を計算する重心位置計算工程とを含むことを特徴とする。

【0010】この運動状態生成方法は、予め用意されている典型的な床反力を適宜変更することで、例えば個人差などに応じた床反力を得ることができ、この床反力を用いることで、人間の重心位置の運動状態を生成することができます。この運動状態生成方法は、以下のように具体化することができる。すなわち、キーボードから入力された歩容と、予め測定しておいた典型的な床反力に基づいて定められた係数を用い、フーリエ級数として三角関数の和を求めて床反力関数を得る。この床反力関数と人間の体重から重心の運動方程式を求め、境界条件として重心の初期位置及び初期速度を用いることで、重心の運動状態を生成する。このようにして、実際に床反力の測定を行わなくとも、人間の個人差に応じた運動状態を自在に生成することができる。なお、前記運動体は歩行する人間に限るものではなく、予め典型的な床反力を測定しておけば、いかなる運動体の運動であっても運動状態を生成することができるのは言うまでもない。

【0011】請求項3記載の運動状態生成方法は、請求項2に記載の運動状態生成方法において、前記境界条件決定工程は、前記運動体の運動の終期条件として重心の終期位置を前記境界条件記憶手段に格納し、前記重心位置計算工程は、前記運動体の重心位置の時間変化から求められる重心の終期位置と前記境界条件記憶手段に格納された終期位置とを比較し、その比較結果に基づき前記床反力関数を変化させることを特徴とする。

【0012】この運動状態生成方法においては、境界条件として重心の終期位置も与えられるので、重心の初期

位置と終期位置の2点間の運動状態を生成することができる。

【0013】請求項4記載の運動状態生成方法は、請求項1から3いずれかに記載の運動状態生成方法において、前記係数決定工程は、前記運動体が運動する地形の形状に基づいて係数を決定することを特徴とする。

【0014】この運動状態生成方法においては、床反力関数生成の際に、地形の情報も用いられるので、種々の地形に応じた運動状態が生成される。地形の種類としては、勾配、階段、起伏などが挙げられる。

【0015】さらに、以上の運動状態生成方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録しておくことにより、前述の運動状態生成方法がコンピュータを利用して実現できる。なお、「コンピュータ読み取り可能な記憶媒体」とは、フロッピーディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。

【0016】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施形態である歩行状態生成方法（運動状態生成方法）を実現する装置の構成図である。図において、100は床反力関数生成手段である。101は歩容取得手段（速度取得手段）であり、歩容を取得すると共に、一次結合の基底となる三角関数の位相に現れる歩行の周期を決定する。102は位相決定手段であり、前記周期より、三角関数の位相を決定する。103は項数決定手段であり、一次結合の基底となる関数を何項目まで用いるかを決定する。104は係数決定手段であり、係数記憶手段106に予め記憶されている係数と、項数決定手段103で決定された項数について、三角関数の係数を決定する。105は関数合成手段であり、位相決定手段102で決定された位相を有する三角関数に対し、係数決定手段104で決定された係数を乗じて、項数決定手段103で決定した項数分の和を求め、さらに必要に応じて実数を乗じて床反力を表現する関数を生成する手段である。

【0017】200は重心位置生成手段である。201は初期条件決定手段であり、人間の一步の開始時の重心の初期位置及び初期速度を取得するとともに、初期条件記憶手段206に格納する。202は体重決定手段であり、人間の体重を取得すると共に、体重記憶手段（質量記憶手段）20

$$T_{step} = 1/v$$

により、一步の時間  $T_{step}$  を決定する。ここで、1サイクルすなわち左右一步づつの時間を  $T_{cycle}$  とし、遊脚相（足が地面から離れて着地するまで）を  $T_{swing}$ 、両足支持相を  $T_{ds}$  とすると、明らかに以下の関係が成立する。

$$T_{cycle} = 2 T_{step} = T + T_{swing}$$

$$T_{ds} = T - T_{step} = T_{step} - T_{swing}$$

7に格納する。203は床反力合成手段であり、関数合成手段105で合成された関数と、体重記憶手段207に格納された体重を用いて左右の足が受ける床反力を合成する。204は重心位置計算手段であり、床反力合成手段203で合成された床反力を時間で積分することにより重心の速度及び位置を計算する。

【0018】なお、上記記憶手段としては、ハードディスク装置や光磁気ディスク装置、ROM(Read-Only Memory)等の不揮発性メモリ、CD-ROM等の読み出しのみが可能な記憶媒体、RAM(Random Access Memory)などのような揮発性メモリ、あるいはこれらの組み合わせにより構成されているものとする。さらに、上記装置の周辺機器として、キーボード等の入力装置、CRT(Cathode Ray Tube)等の表示機器等が（不図示）が接続されているものとする。また、上記各処理手段としては、専用のハードウェアにより実現されるものであってもよく、また、この処理部はメモリ及びCPU（中央演算装置）により構成され、各処理手段の機能を実現するためのプログラムをメモリにロードして実行することによりその機能を実現させるものであってもよい。

【0019】次に、本実施形態の動作を説明する。本実施形態においては、以下、座標を右手系で取り、歩行者の進行方向をx軸の正の向きに取り、鉛直上向きをy軸の正の向きに取る。この場合、z軸の正の向きは歩行者の右手方向を指すことになる。ただし、図9(a)および以下の説明では、「lateral」すなわち床反力の左右方向の成分は、立脚足の外側を正としている。本実施形態では一次結合の基底となる三角関数を

【0020】

【数1】

$$f_i^k(t) = \sin\left(\frac{n_i k \pi}{T} t\right) \quad (1)$$

【0021】で表す。ここで  $t$  は時間変数であり、 $i$  は  $x, y, z$  のいずれかの方向を示す。 $T$  は足の着地からその足が地面を離れるまでの時間（支持相）であり、 $k$  は自然数である。

【0022】まず、図2に示すフローチャートのSP1において、歩容取得手段101が歩容を取得する。本実施形態では、キーボードから単位時間当たりの歩数である歩容  $v$  が入力される。次に、SP2において、入力された歩容  $v$  を用いて以下のように  $T$  の値を決定する。まず、

(2)

ここで、例えば  $T_{ds}=0.25 T_{step}$  などとすることにより、 $T_{step}$  から  $T$  の値を求めることができる。前記比例係数0.25の値は、他の値を用いても構わないし、一步ごとに変化させても良い。

【0023】なお、上記歩容取得手段101は歩容を直接取得するのではなく、例えば歩行速度  $v$  および一步の歩幅度  $d$  を入力して歩容を求め、SP2において

$$T_{step} = 1/v = d/v$$

としてもよい。

$$(n_x, n_y, n_z) = (2, 1, 1)$$

とし、前記Tの値を用いることによって(1)式右辺の位相を決定する。

【0025】次に、SP4に進み、項数決定手段103が三角関数の個数を決定する。本実施形態では項数を3とす

$$a_{xk} = -0.14286/2^{k-1} + \delta_{xk}, \quad (k=1, 2, 3), \quad (5)$$

$$(a_{y1}, a_{y2}, a_{y3}) = (1.3, 0.1, 0.4) + (\delta_{y1}, \delta_{y2}, \delta_{y3}), \quad (6)$$

$$(a_{z1}, a_{z2}, a_{z3}) = (0.07, -0.03, -0.03) + (\delta_{z1}, \delta_{z2}, \delta_{z3}), \quad (7)$$

但し、 $\delta_{xk}$ ,  $\delta_{yk}$ ,  $\delta_{zk}$  ( $k=1, 2, 3$ ) は係数の第1項に比べてその絶対値が非常に小さい値であり、通常は0としても良い。また、kの値は、前記項数決定手段103で決定された項数に合わせ、 $k=1, 2, 3$ である。これらの係数は、予め係数記憶手段106に記憶されているが、係数決定手段104が係数記憶手段106から読みだした後に適宜変更してもよい。例えば、 $\delta_{xk}$ ,  $\delta_{yk}$ ,  $\delta_{zk}$  ( $k=1, 2, 3$ ) の値を適当に変更することで、明瞭な個人差を出すことができる。

【0027】次に、SP6に進み、以上の式(1)、位相、項数、係数を用い、関数合成手段105がその線形和を計算する。

【0028】

【数2】

$$F_x(t) = W_x \sum_{K=1}^3 a_{xk} \sin\left(\frac{2k\pi}{T}t\right) \quad (8a)$$

$$F_y(t) = W_y \sum_{K=1}^3 a_{yk} \sin\left(\frac{k\pi}{T}t\right) \quad (8b)$$

$$F_z(t) = W_z \sum_{K=1}^3 a_{zk} \sin\left(\frac{k\pi}{T}t\right) \quad (8c)$$

【0029】ここで、 $w_x$ ,  $w_y$ ,  $w_z$  は体重を表す係数である。これは、係数決定手段104までで表現された数値は体重に対する相対値で表現されているため、現実の値との整合性を取るためにある。もちろん、相対値で表現された関数を取得したい場合はここで、 $w_x=w_y=w_z=1$  としてもよい。

【0030】次に、SP7に進み、初期条件決定手段（境界条件決定手段）201が、人体重心位置の初期位置及び初期速度を取得する。取得した初期位置及び初期速度

(3)

【0024】次に、SP3に進み、位相決定手段102が

(4)

る。

【0026】次に、SP5に進み、係数決定手段104が以下の係数を決定する。

(5)

は、初期条件記憶手段（境界条件記憶手段）206に格納される。本実施形態においては、キーボードによって入力された値を取得するが、歩行状態を連続して生成する場合は、直前の一步の終了値を記憶手段から取得するようにも良い。次にSP8に進み、体重決定手段202が人間の体重を決定し、体重記憶手段207に格納される。体重はキーボードなどから入力してもよいし、予め他の記憶手段に記憶されているものとしてもよい。

【0031】次にSP9に進み、床反力合成手段203が、これらの手段で決定された値及び関数合成手段105で合成された関数を用いて、床反力を合成する。この時、重心移動に影響を与えるのは両足からの床反力の合計であり、本発明でいう「一步」は開始からしばらくの間は両足支持となるため、それぞれの足からの床反力の合計となる。例えば、「左踵着地」から「右踵着地」までのある一步に関する床反力の場合、図9(b)で示される床反力で例えれば、左足の着地から両足支持の間は左右の合計値となる。その後一步の終了までは右足からの床反力がゼロであるため、実質的に左足からのみの床反力となる。

【0032】次に、SP10に進み、重心位置計算手段204が、床反力合成手段203によって合成された床反力の近似値を用いて、重心位置の時間変化を計算する。すなわち、体重記憶手段に格納されている体重から求められる人体の質量をM、位置ベクトルを  $r(t)$ 、重力加速度ベクトルを  $g$ 、左足の床反力ベクトルを  $F_L(t)$ 、右足の床反力ベクトルを  $F_R(t)$  とすると、一步の歩行において重心位置に対する運動方程式は以下のようになる。

【0033】

【数3】

$$\ddot{r} = \frac{F_L(t) + F_R(t)}{M} - g \quad (9)$$

【0034】この方程式を用いて、以下の処理手順により、重心位置を計算する。なお、この処理手順では時間変数を離散的に  $t=t_0, t_1, \dots$  のように表す。時間間隔  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$  は、例えばTV映像の1フレームに相当する1/30秒としても良い。また、 $r(t_0)$ 、 $\dot{r}(t_0)$  /  $\ddot{r}(t_0)$  はそれぞれ初期条件決定手段201で決定され初期条件記憶手段206に格納されている重心位置及び速度の初期値である。

- 【0035】1.  $i=0$  とする。 $r(t_i)$ 、 $\partial r(t_i)/\partial t$  は既知である。  
 2. (9)式により、 $\partial^2 r(t_i)/\partial t^2$  を求める。  
 3.  $\partial r(t_{i+1})/\partial t = \partial r(t_i)/\partial t + \Delta t \partial^2 r(t_{i+1})/\partial t^2$  により、 $\partial r(t_{i+1})/\partial t$  を求める。  
 4.  $r(t_{i+1}) = r(t_i) + \Delta t \partial r(t_{i+1})/\partial t$  により、 $r(t_{i+1})$  を求める。

5. 処理を終了しなければ  $i=i+1$  として 2. に戻る。

【0036】なお、ここで用いた数値積分は単純なオイラー法であるが、他の手段を用いても良い。以上により、人間が歩行する際に足が床と接する部分において床から受ける反力の時間変化を解析関数を用いて近似的に生成し、人間の重心位置の時間変化を容易に生成することができる。したがって容易に個人差に応じた歩行状態を得ることができるので、各々の人間について実際の床反力を測定することなく、歩容、体重などを入力するだけで、個人差に応じたアニメーション映像などを容易に生成することができる。すなわち、重心位置計算手段204が算出した重心位置の時間変化  $r(t)$  と、別に取得した手や足などの重心に対する相対的な動きとを組み合わせ、これをCRTに表示させたり、あるいはこの歩行状態をデータとして記憶手段に格納することができる。

【0037】次に、本発明の第2の実施形態について説

(ay1, ay2, ay3) = (1.3, 0.0, 0.4) + ( $\delta y_1, \delta y_2, \delta y_3$ ), (10)  
 を用いる。(SP5a-4)

3.  $h > h_{next}$  (誤差を用いる場合は  $h_{next} - h \leq -\varepsilon$ )

$$(ay1, ay2, ay3) = (1.3, 0.25, 0.4) + (\delta y_1, \delta y_2, \delta y_3), \quad (11)$$

を用いる。(SP5a-5)

これらの係数は係数記憶手段106に記憶されているものであり、判定結果に基づき係数決定手段104が適当な係数を選択して決定する。なお、そのほかの処理手段のフローチャートは図2に示したものと同様である。

【0039】以上説明したように、床反力関数の係数を変えることによって歩行する地形の形状（勾配、階段など）に応じた床反力を得ることが可能となる。

【0040】次に、本発明の第3の実施形態について説明する。図5は、本発明の第3の実施形態である歩行状態生成方法を実現する装置の構成図である。本実施形態においては、上記初期条件決定手段の代わりに、歩行の初期条件及び終期条件を取得して境界条件記憶手段506に格納する境界条件決定手段501が設けられている。また、重心位置計算手段509における処理手順が異なっている。その他の構成は上記第2の実施形態と同様である。

【0041】本実施形態では、境界条件決定手段501が、一步の歩行開始時の初期条件である重心初期位置及び初期速度に加えて、終期条件として一步の歩行終了時の重心位置を決定する。これらの境界条件はキーボードから入力されるが、適当な手段を用いて地形や歩幅から計算しても良いし、予め他の記憶手段に記憶されている

明する。図3は、本発明の第2の実施形態である歩行状態生成方法を実現する装置の構成図である。本実施形態では、地形取得手段401が設けられ、地形取得手段401が取得した地形情報に応じて係数決定手段304が係数を決定するようになっている。その他は前記第1の実施形態と同様の構成である。すなわち、地形取得手段401が人間の歩行を再現しようとしている地形情報を取得し、係数決定手段304において、地形が平地であるか、登り勾配であるか、下り勾配であるかを判定し、(8b)式  $F_y(t)$  の三角関数の一次結合係数を決定する。詳細には、図4のフローチャートSP5aで示したように、係数決定手段304は、まずSP5a-1において  $a_{xk}, a_{zk}$  を決定した後、SP5a-2において一步の開始時において支持脚が着地した位置の高さ  $h$  と、次の足が着地する位置の高さ  $h_{next}$  を比較し、以下の処理手順により  $a_{yk}$  を決定する。このとき、ある正の値  $\varepsilon$  を誤差判定基準として判定してもよい。

【0038】1.  $h = h_{next}$  (誤差を用いる場合は  $|h_{next} - h| < \varepsilon$ ) の場合、平地と判定して、(6)式を用いる。(SP5a-3)

2.  $h < h_{next}$  (誤差を用いる場合は  $h_{next} - h \geq \varepsilon$ ) の場合、登りと判定して

$$(ay1, ay2, ay3) = (1.3, 0.0, 0.4) + (\delta y_1, \delta y_2, \delta y_3), \quad (10)$$

$\varepsilon$ ) の場合、下りと判定して

こととしてもよい。取得した境界条件は境界条件記憶手段506に格納される。また、重心位置計算手段509が、図6のフローチャートSP10aで示した以下の処理手順を行う。以下の処理はベクトル表現で表しているが、 $x, y, z$  それぞれの方向で独立に行っても良い。また、 $T_{step}$  を  $N+1$  個の時間間隔とし、 $t_N = t_0 + T_{step}$  としている。

- 【0042】1.  $i=0$  とする。 $r(t_i)$ 、 $\partial r(t_i)/\partial t$ 、 $r(t_i + T_{step})$  は既知である。(SP10a-1)  
 2. (9)式により、 $\partial^2 r(t_{i+1})/\partial t^2$  を求める。  
 3.  $\partial r(t_{i+1})/\partial t = \partial r(t_i)/\partial t + \Delta t \partial^2 r(t_{i+1})/\partial t^2$  により、 $\partial r(t_{i+1})/\partial t$  を求める。  
 4.  $r(t_{i+1}) = r(t_i) + \Delta t \partial r(t_{i+1})/\partial t$  により、 $r(t_{i+1})$  を求める(以上SP10a-2)。  
 5.  $i=i+1$  とし(SP10a-3)、 $i=N$  でなければ 2 に戻る(SP10a-4)。

6.  $r(t_N)$  と境界条件記憶手段506に格納された重心の終期位置とを比較し、それらが等しいか、あるいはその差が一定の誤差以内にあるかを判定する(SP10a-5)。

7. 等しいか一定の誤差内であれば終了する。  
 8. そうでなければ、(8a)～(8c)式の  $w_x, w_y, w_z$  のうち、3. の条件に合致しない方向のものを適宜変化させて 1. へ戻り、再び同じ区間の計算を行う(SP10a-6)。

なお、上記処理を終了した後、引き続きさらに次の一步の計算を行ってもよい。

【0043】以上説明したように、本実施形態によって、歩行する人間の重心位置を望ましい位置に達するように計算することができるので、階段等、一步ごとの位置が決められている場合の歩行状態などを生成することができます。

【0044】なお、上記各実施形態において、各データの取得方法として、キーボードなどから入力してもよいし、記憶手段から読み出すこととしてもよい。さらに、ネットワーク経由等で取得することとしてもよい。

#### 【0045】

【実施例】上記第3の実施形態において示した歩行状態生成方法を用いて、床反力及び歩行状態を生成した。100歩／分の歩行速度で運動するものとし、平地の場合の歩幅を70cm、階段の幅を30cm、高さを16cmとした。その結果を図7、図8に示した。図7は片足の床反力であり、図8(a)は合成された床反力、図8(b)は歩行時の重心速度、図8(c)は歩行時の重心位置であり、いずれも一步の開始（支持脚の踵着地）から終了（遊脚の踵着地）までを示した。

#### 【0046】

【発明の効果】以上のように、本発明に係る運動状態生成方法及び該方法を記録した記録媒体によれば、例えば歩容や体重などの個人差や、地形に応じた床反力を容易に生成することができる。さらに、この床反力を用いることで、実際の床反力を測定することなく、運動状態を生成することができる。したがって、歩容や体重、地形などを入力するだけで、容易に各個人、地形に応じたアニメーションを容易に生成することが可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態である歩行状態生成方法を実現する装置の構成図である。

【図2】 同装置の動作を示すフローチャートである。

【図3】 本発明の第2の実施形態である歩行状態生成方法を実現する装置の構成図である。

【図4】 同装置の動作の一部を示すフローチャートである。

【図5】 本発明の第3の実施形態である歩行状態生成方法を実現する装置の構成図である。

【図6】 同装置の動作の一部を示すフローチャートである。

【図7】 本発明の実施形態による床反力生成例を示す図である。

【図8】 本発明の実施形態による歩行状態生成例を示す図である。

【図9】 典型的な床反力を示した図であり、(a)は片足の床反力、(b)は両足の床反力と一步の定義を示した図である。

#### 【符号の説明】

101 歩容取得手段（速度取得手段）

104, 304 係数決定手段

105 関数合成手段

106 係数記憶手段

202 体重決定手段

203 床反力合成手段

204, 509 重心位置計算手段

206 初期条件記憶手段（境界条件記憶手段）

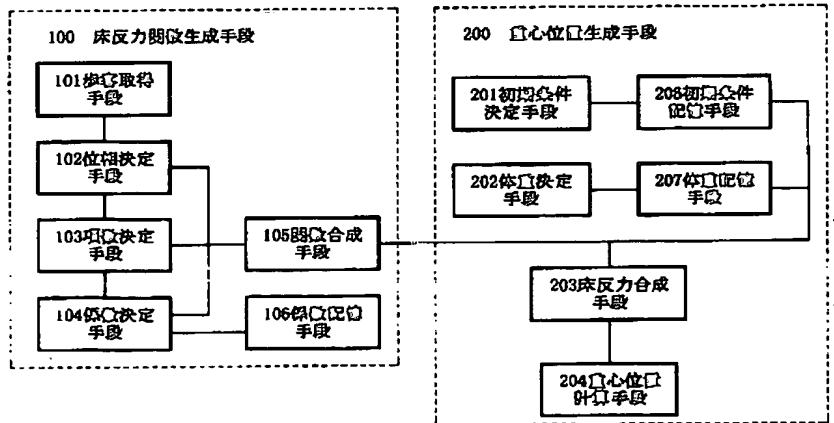
207 体重記憶手段（質量記憶手段）

401 地形取得手段

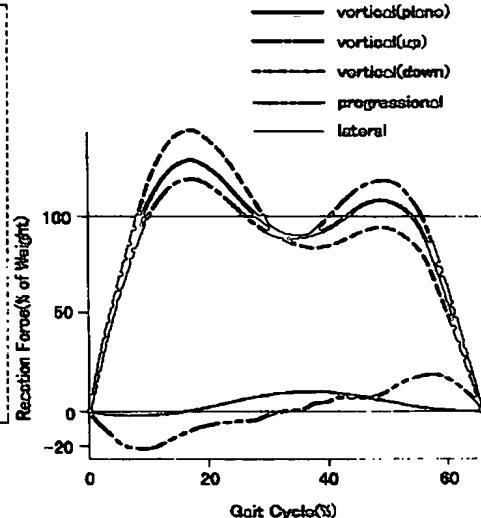
501 境界条件決定手段

506 境界条件記憶手段

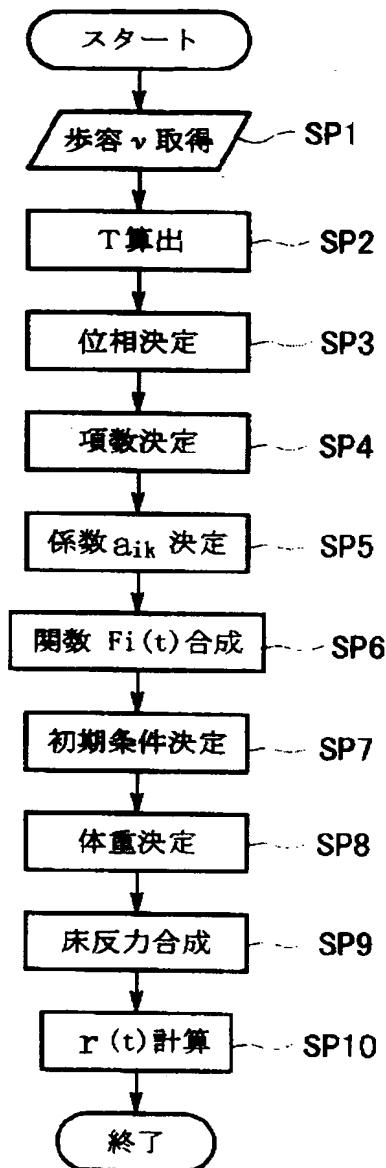
【図1】



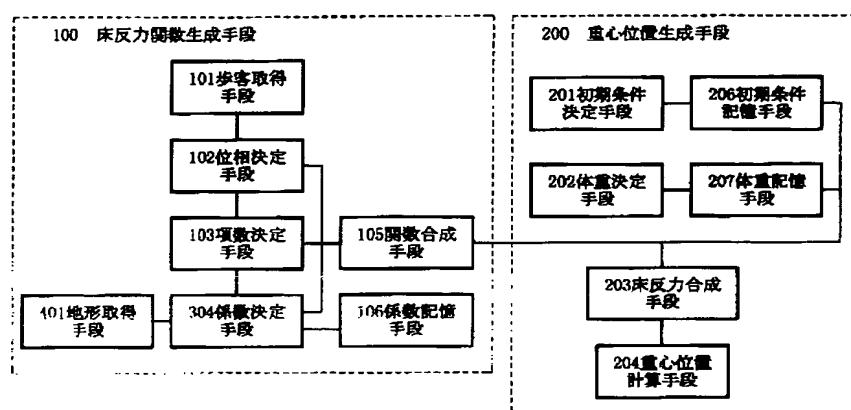
【図7】



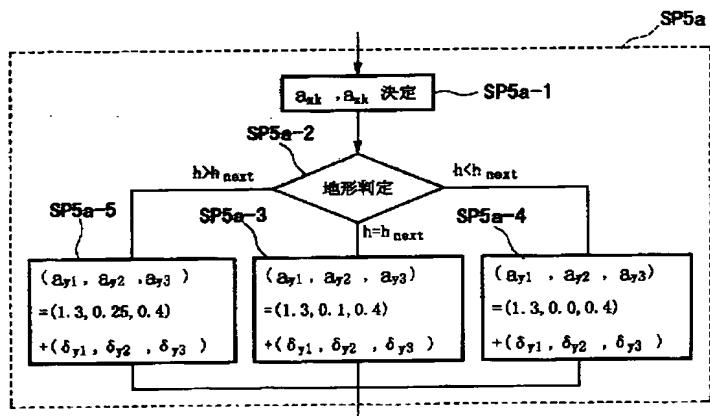
【図2】



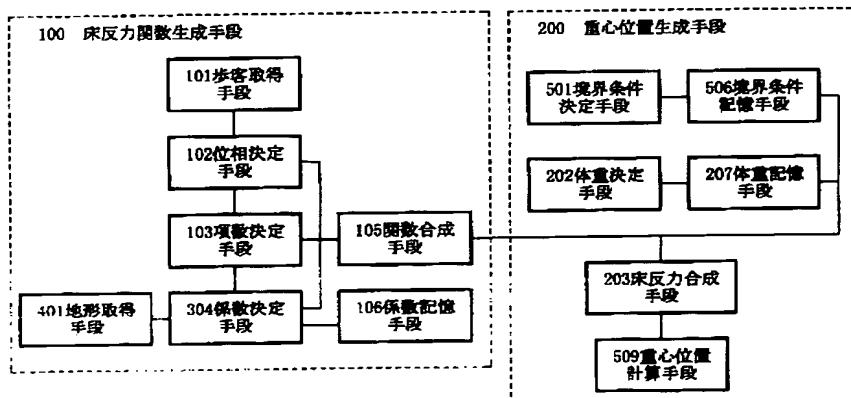
【図3】



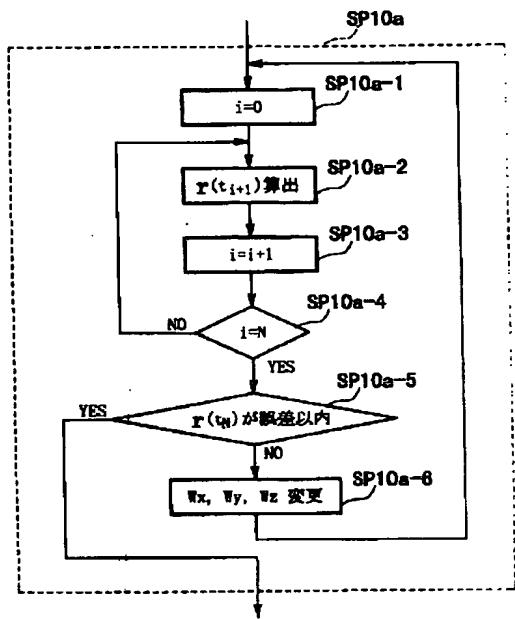
【図4】



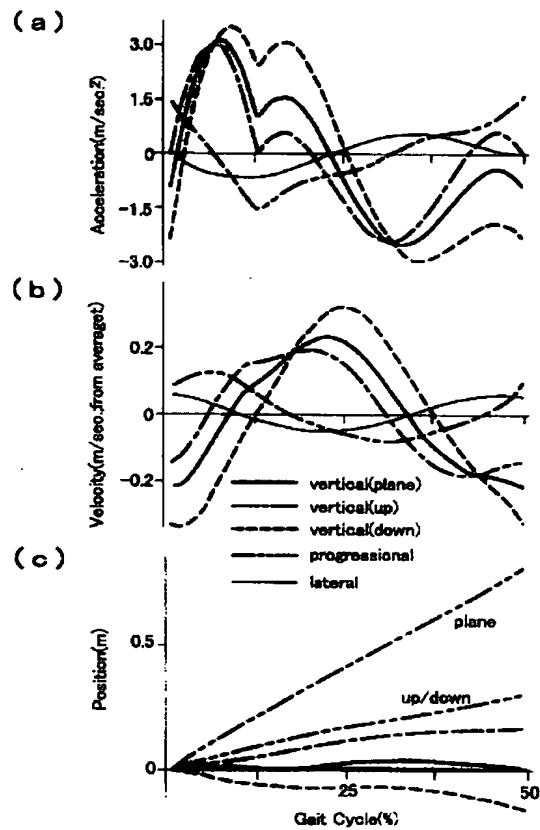
【図5】



【図6】



【図8】



【図9】

